

# МОДЕЛЬ ДИФфуЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ ПЛАСТИНЫ ПРИМЕСЬЮ В УСЛОВИЯХ ОДНООСНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВАЦИОННОГО ОБЪЕМА

**Миколайчук М. А.**

*Руководитель - профессор, д.ф.-м.н. Князева Анна Георгиевна*  
Томский государственный университет, г. Томск  
e-mail: m.mikolaichuk@gmail.com

В данной работе рассматривается пластина ( $L \gg h \gg \delta$ ) находящаяся в условиях одноосного механического нагружения. На одну из её поверхностей () нанесена примесь, диффундирующая в глубь образца, в процессе деформации.

Рис. 1 Схема рассматриваемой системы

Нагрузка распределена равномерно по поверхностям рассматриваемой пластины перпендикулярным оси  $Oy$ . В таком случае можно сказать, что наш образец находится в условиях плоского напряженного состояния. Т.е., компоненты тензора напряжений, , равны нулю на обеих поверхностях пластины. Предположим так же, что это условие справедливо внутри образца. Для получения качественных оценок в первом приближении ограничимся одномерным случаем полагая, что нас интересуют напряжения только в узкой диффузионной зоне отдаленной от поверхностей, к которым приложена нагрузка. В таком случае напряженное состояние можно характеризоваться компонентами, ,. В условиях обобщенного однородного нагружения можно принять. Оставшиеся величины зависят только от координаты. Задача о механическом равновесии пластины решена аналитически, найдены выражения для  $\sigma_x, \sigma_y, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$

,

„

,

, , , ,

,

где  $K$ - коэффициент всестороннего сжатия,  $\lambda, \mu$  – константы Ламэ,  $p$ - внешняя нагрузка.

Для решения диффузионной задачи, определим, как будет выглядеть выражение для потока. В соответствии с термодинамической теорией [1,2],

поток компонента в бинарной системе в изотермических условиях может быть представлен в виде:

(1)

...

где  $\eta$  – концентрация примеси в образце,  $\alpha$  – коэффициент концентрационного расширения,  $D$  – коэффициент самодиффузии,  $M$  – молярная масса примеси,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура,  $E$  – энергия активации,  $\Pi$  – работа внутренних напряжений,  $k$  – коэффициент пропорциональности, который будем называть коэффициентом чувствительности подвижности атома к напряжениям. Это отражает на макроуровне изменение активационного объема атома под действием локального гидродинамического давления, происходящее при деформации кристаллической решетки.

Воспользовавшись уравнением для потока (1) и найденными выражениями для компонентов тензоров напряжений и деформации, найдем уравнение диффузии:

Граничные условия:  $\eta = 0$  в начальный момент времени.

Полученная нелинейная диффузионная задача решалась в безразмерных переменных численно. Исследовано влияние коэффициента  $k$  на поведение системы. В частности, анализировалось изменение относительной ширины диффузионной зоны к заданному моменту времени при различных значениях коэффициента.

Обнаружено, что, если атомный радиус диффундирующего элемента больше, чем атомный радиус основы, то с увеличением  $k$  уменьшается диффузионная проницаемость. При некотором значении коэффициента чувствительности диффузия прекращается вовсе. Иная ситуация наблюдается для диффузанта с малым атомным радиусом по сравнению с основой. Зная из эксперимента значение

Рис. 2. Относительная ширина диффузионного фронта в зависимости от  $k$ .

ширины диффузионной зоны в различные моменты времени, можно оценить значение коэффициента  $k$ .

Распределения примеси в образце в разные моменты времени при различных значениях коэффициента  $k$  представлены на Рис. 3

Рис. 3 Распределение концентраций примеси в образце в разные моменты времени  $t_1 < t_2 < \dots < t_9$  при  $k = 0$  и  $k = 170$

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 2.7.

Список литературы:

1. Князева А.Г. Диффузия и реология в локально – равновесной термодинамике // Математическое моделирование систем и процессов, 2005. № 13. С. 45-60
2. Князева А.Г. Перекрестные эффекты в твердых средах с диффузией // Журнал ПМТФ, 2003. т.44. № 3. С.85-99